

生态效率方法研究进展与应用

吕 彬,杨建新*

(中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085)

摘要:生态效率同时考虑经济效益和环境效益,是将可持续发展的宏观目标融入中观(区域)和微观(企业)的发展规划与管理中的有效工具。回顾了生态效率的概念和发展过程,分析了其内涵和指标体系,探讨了几种典型计算方法与模型,并介绍了国内外在企业、行业和区域 3 个层次上的应用实践,讨论和提出了进一步开展生态效率研究的焦点问题和未来方向。

关键词:生态效率;环境管理;经济效益;环境效益

文章编号:1000-0933(2006)11-3898-09 **中图分类号:**Q149,X22 **文献标识码:**A

Review of methodology and application of eco-efficiency

L ÜBin, YANG Jian-Xin* (State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, the Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3898 ~ 3906.

Abstract: Eco-efficiency, as an effective tool which integrates the sustainability into the development planning and management initiatives at company and regional level, combines the economic value and environmental value. Although there are several definitions of Eco-efficiency, 'Creating more value with less impacts', defined by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), is generally accepted. Compared with concepts such as Factor X and Ecological Footprint (EF), Eco-efficiency mainly focuses on integrating the environmental impact and economic value, while Factor X and EF concern more on the environmental impact. Cleaner Production also concerns about both environmental performance and economic performance. However, Eco-efficiency takes economic value in high priority whereas Cleaner Production emphasizes on the environmental impact. There are some methods for calculating the Eco-efficiency. Value-Impact ratio method is commonly used, which defines Eco-efficiency as the ratio of economic value of product (service) to its environment impacts. Since the goal and scope for Eco-efficiency analysis varies, the calculation methods for both economic value of product or service and related environmental impact has not come to an agreement. Additionally, some alternative methods like DEA model, Eco-cost/Value Ratio have also been applied in some cases. Eco-efficiency is applied widely at company, industrial and regional levels. At the company level, Eco-efficiency application methods vary according to the scales of the companies. At the industrial level, Data Envelopment Analysis (DEA) is widely used because of its objective method to weight various environmental impacts. Eco-efficiency calculations for regional industrial systems have also been developed, especially in the product recycling systems. Research and application of Eco-efficiency in China have made progress in the last few years. On the basis of introduction of foreign theory system, promotion of circular economy development by Eco-efficiency theory and methodology has become one of the hottest topics. Applications of Eco-efficiency at company level have also developed rapidly.

The analysis of Eco-efficiency theory and applications shows that applications at the company level emphasize on the practicability, while the ones at the regional and industrial levels have a trend of more comprehensive and more complicated

基金项目:国家 973 计划资助项目(2005CB724206)

收稿日期:2006-04-25; **修订日期:**2006-09-20

作者简介:吕彬(1982~),男,山东德州人,硕士生,主要从事产业生态和废物管理研究。E-mail: koulvpin@gmail.com

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangjx@rcees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Basic Research Program of China (No. 2005CB724206)

Received date: 2006-04-25; **Accepted date:** 2006-09-20

Biography: L ÜBin, Master candidate, mainly engaged in industrial ecology and waste management. E-mail: koulvpin@gmail.com

methods. How to reasonably integrate these two methods will be an important direction of Eco-efficiency theory. Evaluation of time-scale effects on the economic value and environment impact, improvement of DEA model, and development of Eco-efficiency methodology that suits to small and medium-sized enterprises, are the important issues to be solved. Additionally, Eco-efficiency application in waste recycling systems is also one of the hot points of research.

Key words: eco-efficiency; environmental management; economic value; environmental value

可持续发展已成为世界各国未来发展目标。生态效率(Eco-efficiency)则成为在不同层次上落实该目标的一个重要切入点。生态效率强调经济效率和环境效益的统一,将宏观尺度上的可持续发展目标有效的融入到微观(企业)和中观(区域)的发展规划和管理中,已得到许多企业的认可与接受,也成为相关政策制定者的重要参考。但生态效率理论体系和计算方法尚未达成共识,相关的研究和探索,成为当前国内外产业生态学的研究热点之一。

中国经济快速发展所带来的资源快速大量消耗和环境急剧退化成为我国实现和谐社会和发展循环经济的重大障碍。生态效率概念的发展与应用,将有效地促进经济转型,发展生态产业,并缓解经济发展与环境保护的矛盾,实现经济的良性发展。目前国内生态效率研究已经有了一定的基础,特别是在循环经济建设、评价领域研究较多,但对生态效率的理论体系特别是相应的计算方法则涉及较少。本文拟系统地评述生态效率概念的发展,探讨其计算方法,以促进生态效率概念和方法在国内的广泛应用。

1 生态效率概念的发展

1.1 生态效率概念释义

生态效率译自英文的 Eco-efficiency,其中 eco-既是生态学 ecology 的词根,又是经济学 economy 的词根,efficiency 有“效率、效益”的含义,两者组合则意味着应该兼顾生态和经济两个方面的效率,促进企业、区域或者国家的可持续发展。

1990 年 Schaltegger 和 Sturm 首次提出了生态效率的概念^[1],即增加的价值与增加的环境影响的比值。生态效率概念被广泛的认识和接受是通过可持续发展工商业联合会(BCSD)在 1992 年出版的著作——《改变航向:一个关于发展与环境的全球商业观点》^[2]。该书指出,企业界应该改变长期以来作为污染制造者的形象,努力成为全球可持续发展的重要推动者。要实现该目标,应该发展一种环境和经济发展相结合的新概念——生态效率,以应对可持续发展的挑战。

随后,相关研究机构纷纷对生态效率的概念进行了深入的研究,提出了一系列的定义(表 1)。其中,世界可持续发展工商业联合会(WBCSD)的定义被广泛接受,即“通过提供具有价格优势的服务和商品,在满足人类高质量生活需求的同时,将整个生命周期中对环境的影响降到至少与地球的估计承载力一致的水平上,简单说来,就是影响最小化,价值最大化”^[3]。

1.2 生态效率与其他相关概念的联系与区别

生态效率不但要表征所研究对象的环境影响,而且评价其经济价值,因此,与 X 倍跃进(Factor X)^[11]、生态足迹(Ecological Footprint)^[12]等可持续性评价方法在范围上有着重要区别。用来计算企业、生产部门或者整个产业系统单位产出消耗的物质和能量的减少倍数的 Factor X 概念,因为同样涉及单位产出的效率问题,所以在应用中常常与生态效率概念混淆^[13]。事实上,X 倍跃进更关心如何引入环境友好技术,以减少整个社会系统对原材料和能源使用量,很少讨论产品的经济价值评价^[16]。生态足迹是 20 世纪 90 年代发展起来的一种以土地为度量单位的生态可持续性评估方法。该方法通过计算支持特定区域人类社会所有消费活动所需要的土地(生态足迹)与该区域可提供的生物生产性土地(生态承载力)相比较来判断区域发展的可持续性^[14],可以看出,经济价值的计算与评估也不是生态足迹方法的核心。

生态效率和清洁生产都关注企业的生产过程中的经济与环境效益。按照《中华人民共和国清洁生产促进法》定义,清洁生产指“不断采取改进设计、使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、改善管理、综

合利用等措施,从源头消减污染,提高资源利用效率,减少或者避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放,以减轻或者消除对人类健康和环境的危害”,可以看出,清洁生产更关心污染的源头消减和过程控制方法,优先考虑环境效益,同时评价经济成本;而生态效率则强调经济效益,同时兼顾环境效益^[15]。

表 1 生态效率的各种定义

Table 1 Definitions of Eco-efficiency

组织名称 Organizations	定义 Definitions
世界可持续发展工商联合會 World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) ^[3]	通过提供具有价格优势的服务和商品,在满足人类高质量生活需求的同时,把整个生命周期中对环境的影响降到至少与地球的估计承载力一致的水平上 Eco-efficiency is achieved by the delivery of competitively priced goods and services that satisfy human needs and bring quality of life, while progressively reducing ecological impacts and resource intensity throughout the life-cycle to a level at least in line with the earth's estimated carrying capacity.
经济发展合作组织 Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) ^[4]	生态资源满足人类需求的效率 The efficiency with which ecological resources are used to meet human needs
欧洲环境署 European Environment Agency (EEA) ^[5]	以最少的自然界投入创造更多的福利 Creating more welfare from less nature
巴斯夫集团 BASF Corporation ^[6]	通过产品生产中尽量减少能源和物质的使用以及尽量减少排放以帮助客户保护资源 Using as few materials and energy as possible in producing our products while keeping emissions as low as possible and helping our customers conserve resources
国际金融组织环境投资部 Environmental Finance Group-International Finance Corporation (EFG-IFC) ^[7]	通过更有效率的生产方式提高资源的可持续性 Increasing sustainability of resources use through more efficient production methods
联合国贸易与发展会议 United Nations Conference on Trade And Development (UNCTAD) ^[8]	增加(至少不减少)股东价值的同时,减少对环境的破坏 Strategies that reduce the damage caused to the environment while increasing, or at least not decreasing, shareholder value
澳大利亚环境与遗产部 Australian Government Department of the Environment and Heritage ^[9]	用更少的能源和自然资源提供更多的产品和服务 Producing more goods and services with less energy and fewer natural resource
加拿大工业部 Industry Canada ^[10]	一种使成本最小化和价值最大化方法 The art of doing more with less, of minimizing costs and maximizing value

生态效率与其他可持续评价相关的方法也有着紧密联系。ISO14031 中环境表现评价标准方法为生态效率环境指标的选择提供了全面的框架^[16]。全球企业可持续报告推动计划(GRI)认为,作为一种“交叉效率(Cross-cutting Efficiency)”,生态效率在企业的可持续发展报告的指标中,应该占有重要地位^[17]。生态效率通常仅考虑经济 and 环境的相互作用与影响(图 1 中线条区域),不包括社会发展因素。Brattebø 认为应该增加社会因素才能全面合理地衡量社会、经济、环境的可持续发展^[18]。芬兰国家环保局^[19]在对区域的生态效率进行评价时,加入了 8 类社会发展指标(图 1 中黑色区域)。但是应该看到,与经济指标与环境指标相比,社会发展指标的量化更具有主观性。而生态效率在更多的时候是应用于行业和企业内部的评价与管理,对社会发展的影响的边界难以合理确定,因此,生态效率概念还是应该以分析评价所研究对象的经济与环境指标为主,只是在必要时参考社会发展的指标。

2 生态效率的计算方法

2.1 价值-影响比值计算方法

虽然生态效率的定义各不相同,但是都涉及到经济价值和环境影响两个方面。因此在具体计算中,大都以经济价值与环境影响比值的方式出现,例如单位环境影响的生产价值,单位环境改善的成本,单位生产价值的环境影响,单位成本的环境改善等^[20]。目前普遍接受的计算公式由 WBCSD^[21]提出:

$$\text{生态效率} = \frac{\text{产品或服务的价值}}{\text{环境影响}}$$

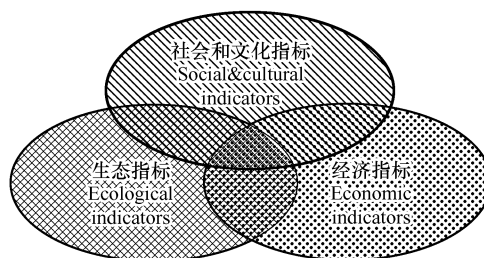
图 1 区域生态效率指标^[19]

Fig. 1 Regional Eco-efficiency Indicators

产品或服务的价值和环境影响数值的确定仍然没有统一的方法,部分原因在于生态效率计算目标的差异^[14]。例如,当以促进企业内部可持续发展的管理为目标时,强调可行性,以评价企业的外部表现为目标时,则主要考虑产品或者服务在整个生命周期中的表现。

2.1.1 经济价值的计算 适当的经济指标,可以用来表征所研究企业或者行业乃至区域的产品或者服务的经济价值。WBCSD^[21]把产品或服务的生产总量或销售总量(Quantity product/service produced or sold)和净销售额(Net sales)作为一般性经济指标,增加值(Value Added)作为备选指标。Eik 等^[22]在此基础上发展和完善了适合废物回收系统的指标体系。UNCTAD^[8]则认为,只有增加值在企业的可控制范围内,因此应该作为主要经济指标,而不建议采用销售收入等经营性指标。

以上指标体系均选择了可得性较强的企业财务指标,然而在面向整个行业乃至区域的生态效率计算时,要考虑的因素则比单纯的企业内部管理复杂得多,例如环境外部性影响的经济成本计算、折现率的确定等等。

目前产品或服务价值的计算主要有两类方法^[23]:成本效益分析(Cost-Benefit Analysis, CBA)和生命周期成本分析(Life Cycle Costing, LCC)。LCC 计算了产品的整个生命周期内市场相关成本和收益,而 CBA 则除了市场相关成本和收益外,还包括环境外部性经济成本。但是环境外部性成本的量化方法仍未成熟^[22]。而从经济学角度出发, Kuosmanen 认为经济价值计算中应该采用机会成本^[24],而不是已支付成本,而且长期来看,应当重视净现值的折算。

2.1.2 环境影响的计算 ISO14031 标准中环境表现评价参数的选择方法已广泛应用于生态效率计算。按照该标准的定义,环境表现参数是表达一个组织环境表现相关信息的特定形式,它包括管理表现参数和运行表现参数,一般意义上的环境影响属于运行表现参数的范畴。运行表现参数则需要考虑以下因素:材料、能源和服务的输入;运行所需的设施、设备状况;所产生的产品、服务、废物和排放物。

另外,其他研究组织也针对生态效率的计算提出了各自的环境指标。例如, WBCSD 给出了 5 个一般性环境指标(能量消耗、物质消耗、水消耗、温室气体排放、破坏臭氧层物质的排放)和 2 个备选环境指标(酸化气体排放、废物总量)^[21]。UNCTAD 的报告^[8]则列举了以排放量为基础的 5 个环境指标,即不可再生能源消耗、水资源消耗、温室气体排放、破坏臭氧层物质的排放、固体和液体废弃物。

由于各种类型的环境影响无法像经济指标那样直接相加,在集成之前需要对不同类型的环境影响赋予相应权重,但是赋权方法尚未达成共识。常用的赋权方法一般是借鉴环境经济学中确定物品环境价值的调查方法,其主观成分较大。Huppes 等^[23]介绍了分别针对群体和个体的陈述偏好和显示偏好的赋权方法。Nieuwlaar 等^[25]则将污染类型赋权方法分为 3 类:专家打分法;支付意愿调查;政策目标方法。BASF 模型^[6]对常用的赋权方法进行了改进,把权重分为科学权重因子(Scientific Weighting Factors)和社会权重因子(Societal Weighting Factors)。科学权重因子通过企业排放污染物与行业相应污染物平均水平的比值来确定,社会权重因子则通过专家打分来确定,然后这两种权重因子相乘得到各类环境影响权重。

2.2 其他计算方法

数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)是以“相对效率”概念为基础,根据多指标投入和多指标产出对相同类型的决策单位(企业或者企业内部部门)进行相对有效性或效益评价的一种系统分析方法^[26]。采用 DEA 方法计算生态效率时,通常是针对同行业的一组企业,将其经济指标和环境指标分为输入和输出两类,本着输入最小化和输出最大化的原则,使用数学规划模型来求取所评价企业在该行业中的相对生态效率。若输出中含有污染物,则需要将其最小化,此时的输出称为非期望输出(Undesirable Output)。非期望输出的问题一般通过函数变换和模型修正来解决。DEA 方法优点在于可以有效地减小环境指标赋权方法的主观性影响,因为它摒弃了传统主观的赋权方法,采用统计学方法自动赋权。但 DEA 模型需要大量的可靠数据和参考样本,所涉及的环境影响种类则受到数量限制,因此,DEA 方法在生态效率计算中尚未广泛应用。

Vogl  nder 等^[27]提出一种比例模型——生态成本价值指数(Eco-cost/Value Ratio, EVR)模型,该模型的建立基于产品或服务的环境影响的预防成本,即如果要使产品在其生命周期中不影响社会实现可持续发展,将需

要多少成本来预防污染的产生和资源过量消耗。该成本称为生态成本,包括 5 个方面:污染消减成本、可再生能源价格、物质资源消耗成本、基础设施折旧成本以及劳动力成本。产品或服务的生态成本与实际市场价格之比即生态成本价值指数,其值越大,该产品的生态效率较低。该方法没有考虑市场价格的变动,采用的是研究期限内的市场价格,在某些情况下可能无法反映价值。

OECD 将生态效率定义为生态资源满足人类需要的效率,也就是说,一定的人类社会服务量可能造成的环境影响。根据 OECD 定义,Mao 等^[28]在分析中国铅酸电池产业时,以铅酸电池所提供的电能作为社会服务量,将生态效率分为资源效率(铅酸电池单位电能的铅资源消耗量)和环境效率(铅酸电池单位电能的铅废料排放量)分别进行评价。对于手机、电脑等多功能产品,很难根据某一种功能来表征它的社会服务量,Fuse K. 等^[29]提出基于硬件的社会服务量指标,如手机的电池寿命、液晶屏幕像素、运算速度等指标,分析比较了两款手机的生态效率。

3 生态效率的应用

生态效率概念和方法在实践中得到了大量应用,由于研究对象层次的差别和研究目的不同,计算与评价方法也各有差异。目前的应用主要在企业、行业、区域等层次上开展。

3.1 企业生态效率分析

在企业层次上,生态效率计算方法因企业规模的不同而有所区别。大型企业管理完善,环境数据全面,因而他们可以自行开发或者利用相关研究机构开发的方法,计算和分析自身的生态效率以有效提高企业的可持续发展水平,例如巴斯夫(BASF)集团、戴姆勒-克莱斯勒(DAIMLER CHRYSLER)公司、3M 公司等^[30,31]。生态效率也常被企业用来对所采用新技术进行环境和经济评估。Nieuwlaar 等^[25]在分析荷兰一家石油天然气生产企业的环保措施的生态效率时,计算了不同环保项目投入组合对环境改善的边际效益。结果表明,投资 100 万欧元,可以实现 80 %的环境效益,而其余 20 %的环境效益则需要成倍的资金投入。

相对大型企业而言,中小企业规模小,排污量小,但数量众多、成分复杂,在区域排污总量中相当比重^[32]。因此,中小企业生态效率的计算与评价方法同样需要进行深入研究。Suh 等^[33]以一个中小型的韩国电子元件生产企业为例,分析了各种污染消减措施的生态效率,其中经济价值采用总成本核算,包括了一般成本、隐形管理成本、责任成本和企业形象工程以及公关成本;环境影响则采用生命周期分析方法,主要考虑了对人类的毒性影响。Côté 等^[34]在对加拿大的 25 家中小企业进行分析时,开发了一套适用于评价中小企业生态效率的指标与方法。结果表明,这些企业的生态效率普遍较低,提升生态效率的驱动力主要来自于成本的消减,而不是通常认为的管理政策调整。

3.2 行业生态效率评价

目前行业生态效率的评价指标和方法也不尽相同,仍需要进一步的探索。不同行业在选择环境指标与经济指标上往往不同。在巴西一个公路运输行业生态效率评价的项目中^[35],特别关注了能源消耗与大气污染,环境指标采用了总能源消耗、可再生能源消耗、温室气体排放、大气污染物排放等,经济指标则采用相应的折现后年际成本。而在加拿大食品和饮料行业生态效率评价计划中^[36],除了能源消耗、温室气体排放、水资源利用和废水排放等常用环境指标外,还包括固体有机废物和包装废物。在评价德国洗衣机行业的生态效率时,Rüdenauer 等^[37]利用生命周期成本方法来核算实际成本;环境指标包括初级能量需求量、金属资源需求量、全球变暖潜力、酸化潜力、富营养化潜力、光化学臭氧产生潜力等。权重确定使用了类似于政策目标距离法的生态等级(Eco-grade)方法。

以上案例都是通过行业的平均值,来评价整个行业的生态效率,然而要对行业内具体企业进行优化提高,则需要对同行业中不同的企业进行评价比较,找出其弱点所在。因此,以相对效率概念为基础的 DEA 方法在同行业的不同企业的相对生态效率评价中,得到了广泛应用。

传统 DEA 方法的重要假设是每个决策单元间的输入和输出都具有正面效应,但是涉及到环境因素,就会有非期望的输出,例如固废和废水的排放。此时 DEA 模型就需要使用适当的方法来解决非期望输出的问题。

Pittman 在 1983 年使用多元最优指数来评估造纸业的生产力水平时^[38],考虑到非期望因子,把造纸时产生的生化需氧量、悬浮固体、硫氧化物等污染物纳入了评价范围。其后,Färe 等^[39]和 Seiford 等^[40]分别使用各自提出的 DEA 方法对 Pittman 的 30 家造纸厂样本资料进行了重新评价。

应用 DEA 模型计算生态效率时,各种方法的主要区别在于对非期望输出处理方法与模型组合的差异^[41]。一是把非期望输出通过单调递减函数进行变换,作为期望输出来对待,仍然使用普通 DEA 模型。例如 Lovell^[42]等比较了 19 个 OECD 国家的宏观经济表现,处理非期望输出的方法是使用它们的倒数作为正常的输出来计算。Courcelle 等^[43]评价了 23 个城市固体废物回收和分类项目的经济表现和环境影响,将各个项目的最后的废物处置量与总的输出量之比(称之为残余率),作为模型的正常输入。二是仍然使用非期望输出的原数据,但对所使用 DEA 模型进行相应修改来达到目的。Färe 等^[44]做出了一个“弱可处置(Weak Disposability)”假设,即假设减少非期望输出一定会对其它正常产出产生影响,并将其应用于美国多个煤、油燃料发电系统生态效率的分析比较。

为了比较不同方式处理非期望输出带来的差异,J. Korhonen 等^[45]采用 DEA 模型通过两种方法分析了欧洲某国 24 个电厂的生态效率。第一种方法是使用 DEA 模型先计算技术效率(期望输出和输入的比值),再计算环境效率(期望输出和非期望输出的比值),然后把这两个效率指标相乘得到各电厂的生态效率;第二种方法直接将污染物当作输入来进行 DEA 模型计算,最后结果显示,两种方法所得到的生态效率的评价结果非常相似。

H. Dychkhoff 等^[46]在传统 DEA 模型假设的基础上,加入了优选结构,按照荷兰 Leiden 大学环境研究中心(CML)的生命周期分析方法对非期望输出环境影响进行分类,然后作为 DEA 模型中的输入。Hua 等^[47]建立了一个非径向 DEA 模型来分析评价淮河流域 32 个纸厂的生态效率。该模型要求所有的样本单位都在相似环境下运作。结果为决策者提供了有效输入和输出的控制目标。

生产中的非期望输出究竟作为单元的输出还是输入尚存争议。为了避免该问题,Kusmanen 等^[48]从生态经济学和产业生态学的角度,以环境压力指标来取代污染物产生量的指标,采取帕累托最优的思想设置最佳生态效率条件,使用 DEA 模型,对芬兰 3 个镇公路运输行业的相对生态效率进行了计算和比较。结果表明,某些环境压力明显大于其它类型,需要提前设定权重的相对约束条件。

综上所述,DEA 方法在生态效率计算中的最大优势在于,在对各类环境影响赋权时,它摆脱了传统赋权方法的主观性,使用统计学方法让数据自己“说话”,得出所研究对象的相对生态效率的大小。但是,DEA 模型需要大量的可靠数据,需要的参考样本也是越多越好,所涉及的环境影响种类则应该是尽可能的少。因此,DEA 模型适合于评价同行业中不同企业的生态效率。

3.3 区域产业系统生态效率计算

生态效率在区域尺度上的应用仍在探索中,目前并无普遍认可的方法。Grant^[49]曾提出过旨在提高生态效率的工业区景观设计规划,但只是提及了提高能量效率和减少废物产生等原则,并没有深入探讨生态效率的含义与计算方法。

作为区域生态效率计算的典型案例,芬兰 Kymenlaakso 地区 ECOREG 项目^[21]在这方面进行了探索。项目执行者认为生态效率作为环境与经济因子的比值无法正确全面的表征区域发展的可持续性,因此尝试在地区生态效率评价中加入社会发展指标,并与环境指标,经济指标进行综合。Seppälä 等^[50]着重分析了该项目经济指标与环境指标体系。该体系中,经济指标使用国内生产总值、增加值和该地区主要经济部门的产出,环境指标基于生命周期分析方法,分为压力指标、影响类型指标和总影响指标。其中总影响指标是通过调查方法对各类环境影响赋权加和所得。Michwitz 等^[51]则对该项目中社会指标的建立过程进行了详细的分析,建立了 8 类社会发展指标,包括安全、教育、人口变化等。但社会发展指标仅作为参考,不参与环境指标,经济指标的综合。

生态效率概念来自于产业界,没有包括考察区域发展可持续性所需要的社会发展指标,因此,区域生态效

率并不适于评价整个区域的可持续性,而较适于产业系统的可持续性评价。在区域产业系统的生态效率评价中,产品消费后的能量、物质回收和再生利用系统具有非常重要的作用。从生命周期的思想出发,通过分析产品消费后的收集、处置或循环利用,产品消费,生产直至产品的设计等所有环节,以寻求合适的经济方法或者政策手段来提高产业系统的生态效率,成为生态效率研究的热点之一。

Husiman^[52]在欧洲电子废物回收体系研究中,使用了生态效率的概念对各种家用电器的不同回收处理路径进行了详细的分析。把回收处理中的环境影响(Eco-indicator 99 指数)作为环境因子,包括利润在内的实际支付金额作为经济因子,根据所得生态效率值的高低来选择最为适合的回收利用路径。研究结论对欧洲 WEEE 指令所要求以重量为基础的回收目标提出了质疑与合理建议。Morioka 等^[53]使用了两套生态效率指标对日本 Hyogo 生态镇的汽车和家用电器的闭路回收系统回收路径进行了分析。第一套使用总增加值作为经济指标,总物质流或者全球变暖潜力作为环境指标;第二套则是采用净增加值(总增加值+循环利用所节约成本-循环利用成本)作为经济指标,对于二次使用的电器部件还要再减去消费者的支付意愿,环境指标相同。结果显示,经过改进的汽车和家电闭环回收体系具有更高的生态效率。

环境影响的严重程度会随着时间尺度而改变,经济成本或者利润也会涉及到折现率的问题。因此 Hellweg 等^[54]分别使用 100a 和无穷长时间两种尺度对固体废物的 4 种处置方式进行了生态效率分析,认为无穷长时间尺度上的分析更加有说服力。从管理角度来看,废弃物的产生具有明显的动态特点。Eik 等^[23]尝试利用动态方法对塑料包装的回收体系进行了分析,探讨了物质的保存、生产技术、不同回收率与成本的相互影响,但由于数据的缺乏,大部分只是进行了理论实验与探索。

4 国内生态效率研究现状

近年来,国内生态效率的研究也取得了积极的进展,在介绍引进国外先进的概念和理论方法的基础上,初步形成了一些适合中国国情的理论和方法。李丽萍等^[55]介绍了生态效率的概念及提高生态效率的战略目标与措施。朱坦等^[56]提出了在地方和区域、工业企业范围内运用生态效率的必要性,指出生态效率研究与运用的关键。

如何将生态效率概念应用于区域循环经济建设是国内生态效率研究的热点。戴育才等^[57]认为生态效率与循环经济在理念和原则上具有一致性,提出了通过生态效率体系及其机制来促进、评价我国循环经济建设建议。周国梅等^[58]介绍了 OECD 国家生态效率概念的发展,论述了工业生态效率的 3 个指标:能源强度指标、原材料强度指标和污染物排放指标,并且借鉴生态效率的指标体系初步建立了循环经济的评价指标体系。刘华波^[59]等探讨了生态效率与循环经济之间的关系,以生态效率指标为基础,建立了更加全面客观的循环经济评价指标体系。诸大建等^[60]通过对中国宏观经济层面生态效率的情景分析,提出了适合中国发展的循环经济模式。与生态足迹方法相结合,顾晓薇等^[61]将区域经济的生态效率解释为该区域单位生态足迹的经济产出(GDP),对辽宁省各市的生态足迹与经济关系的互动关系进行了分析比较。

国内生态效率的研究在区域层次上不断深入的同时,应用于企业层次的理论和实践方法也得到了较快的发展。岳媛媛等^[62]通过分析国际范围内企业实施生态效率的实践,结合国内现状,提出了中国企业实施生态效率的步骤模型。谭飞燕等^[63]将生态效率的概念应用于企业技术创新的评价,建立了一套切实可行的评价指标体系。何伯述等^[64]在分析发电厂的环境影响时,将有效能量与有害气体的排放量的相对关系定义为生态效率进行计算与评价。陆钟武等^[65]运用企业生态效率的 3 个指标:资源效率、能源效率和环境效率,对某钢铁企业生态效率进行了计算与分析。

5 结论与讨论

生态效率的概念和内涵以及所采用的计算指标和方法与其评价的尺度和评价的目的有非常密切的关系。企业开展生态效率分析主要是为了降低污染消减成本,提高产品或者服务的增加值,改善企业的公众形象,促进企业的进一步发展。因此企业在选择经济指标时,会采用与其利润最为相关的增加值、销售额等财务指标,对外部性成本核算、折现计算等很少考虑。在选择计算方法时,也往往采用简单直观的价值-影响比值方法。

而行业和区域生态效率的评价则是为了整个产业系统能实现经济效率和环境效益,需要全面衡量产品或服务在整个生命周期中的价值,将外部性成本核算、折现计算等融入经济指标中。计算方法也须采用较复杂的模型。在实践中,两种尺度上生态效率的计算结果也存在差异,影响到政府管理政策的制定和企业内部调整。如何综合两种尺度上的生态效率的计算,要求既能全面地考虑产品的影响,又要有较大的可行性,是生态效率理论发展的重要方向。

生态效率的计算方法有待进一步探索和研究。首先,产品或者服务的经济价值和环境影响都具有一定的时间效应。经济价值的时间效应目前多使用折现率来解决。对环境影响的时间效应关注较少。在生态效率计算中考虑环境影响的时间效应将是一个迫切需要解决的问题。其次,在选择计算方法时,DEA 方法因为其客观性强成为应用的热点,但 DEA 方法的结果对数据的精度非常敏感,不同的 DEA 计算模型所得出的结果差别很大,如何选择和改进 DEA 模型需要进一步研究。同时,考虑到时间效应,DEA 方法也应该引入时间动态模型。

在中小企业层次上开展生态效率分析面临数据短缺和方法创新的挑战。生态效率目前虽然已广泛应用于企业、行业以及区域产业系统等层次上,但在应用于中小企业时,往往由于其规模较小,缺乏环境战略和环境统计数据,现有的生态效率计算方法难以推行。因此,针对广大中小企业的生态效率计算方法亟待开发。

生态效率在废物回收利用系统中的应用,也正成为国内外的热点研究领域之一。准确比较各种回收处理路线的合理性,使各种废物尽量多地成为可再次利用的资源或者能源,产生尽量少的污染,同时得到最大的经济价值,将是需要生态效率方法解决的重要问题。

References :

- [1] Stefan Schaltegger, Andreas Sturm. Ökologische Rationalität, in: Die Unternehmung Nr4. 1990. 273 ~ 290.
- [2] Stephan Schmidheiny and the Business Council for Sustainable Development. Changing Course: A global Business Perspective on Development and the Environment. MIT Press, 1992.
- [3] Björn Stigson. Eco-efficiency: Creating more value with less impact. WBCSD, 2000. 5 ~ 36.
- [4] Organisation for Economic Co-operation and Development. Eco-efficiency. OECD, 1998. 7 ~ 11.
- [5] European Environmental Agency. Making sustainability accountable: Eco-efficiency, resource productivity and innovation. <http://glossary.eea.eu.int/>.
- [6] Peter Saling, Andreas Kicherer, Brigitte Dittrich-Krämer, et al. Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2002, 7(4): 1 ~ 15.
- [7] International Finance Corporation. <http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/Content/CleanerProduction>
- [8] United Nations Conference on Trade and Development. Integrating Environmental and Financial Performance at the Enterprise level: A methodology for standardizing Eco-efficiency Indicators. United Nations Publication, 2003. 29 ~ 30.
- [9] Australian Government: Department of the Environment and Heritage. <http://www.deh.gov.au/>
- [10] Industry Canada. Eco-efficiency: Good Business Sense. 2002. <http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/inee-ee.nsf/>
- [11] Robert KH, Schmidt-Bleek B, Aloisi de Lardere J, et al. Strategic sustainable development-selection, design and synergies of applied tools. Journal of Cleaner Production, 2002, 10(3): 197 ~ 214.
- [12] Liu Y H, Peng X Z. Time series of ecological footprint in China between 1962 ~ 2001: Calculation and assessment of development sustainability. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(10): 2257-2262.
- [13] Wendy Kerr, Chris Ryan. Eco-efficiency gains from remanufacturing a case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia. Journal of Cleaner Production, 2001, 9(1): 75 ~ 81.
- [14] Lucas Reijnders. The Factor X Debate: Setting Targets for Eco-efficiency. Journal of Industrial Ecology, 1998, 2(1): 13 ~ 22.
- [15] World Business Council for Sustainable Development & United Nations Environment Program. Eco-Efficiency and Cleaner Production: Charting the course to Sustainability. WBCSD, 1998. 1 ~ 18.
- [16] International Standardization Organization. ISO14031: Environmental management-environmental performance evaluation-guidelines. ISO, 1999.
- [17] Global Report Initiative. Sustainability Reporting Guidelines. 2002. <http://www.globalreporting.org/>
- [18] Helge Brattebø. Toward a Methods Framework for Eco-efficiency Analysis? Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 9 ~ 11.
- [19] Matti Melanen, Jyri Seppälä, Tuuli Myllymaa, et al. Measuring regional eco-efficiency: case Kymenlaakso. Helsinki: Edita Publishing Ltd, 2004. 23 ~ 39.
- [20] Galt Hupples, Masanobu Ishikawa. Eco-efficiency and Its Terminology. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 43 ~ 46.
- [21] World Business Council for Sustainable Development. Measuring Eco-Efficiency: A Guide to Reporting Company Performance. WBCSD, 2000. 2 ~ 30.
- [22] Arne Eik, Solveig Steinmo, Håvard Solem, et al. Eco-efficiency in Recycling systems- Evaluation Methods & Case Studies for Plastic Packing. NINU Industrial Ecology Program (IndEcol). 2002. <http://www.indecol.ntnu.no/>
- [23] Galt Hupples, Masanobu Ishikawa. A Framework for Quantified Eco-efficiency Analysis. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 25 ~ 41.
- [24] Timo Kuosmanen. Measurement and Analysis of Eco-efficiency: An Economist's Perspective. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 15 ~ 18.
- [25] Evert Nieuwlaar, Geert Warringa, Corjan Brink, et al. Supply Curves for Eco-efficient Environmental Improvements Using Different Weighting Methods. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 85 ~ 96.
- [26] Wei Q L. Data Envelopment Analysis. Beijing: Science Press, 2004. 59 ~ 60.
- [27] Joost G Vogtlander, Arianne Bijma, Han C Brezet. Communicating the eco-efficiency of products and services by means of the eco-costs/value model. Journal of Cleaner Production, 2002, 10(1): 57 ~ 67.
- [28] Mao J S, Lu Z G, Yang Z F. The Eco-efficiency of Lead in China's Lead-Acid Battery System. Journal of Industrial Ecology, 2006, 10(1-2): 185 ~ 197.
- [29] Fuse K, Horikoshi Y, Kumai T, et al. Application of Eco-Efficiency Factor to Mobile Phone and Scanner. Proceedings Third international Symposium on

- Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE, New York 2003: 356 ~ 359.
- [30] Five Winds International. The Role of Eco-Efficiency: Global Challenges and Opportunities in the 21st Century. May 2000. <http://www.fivewinds.com/>
- [31] Katherine Madden, Rebekah Young, Kevin Brady, *et al.* Developing the eco-efficiency: learning module. WBCSD, 2005. 205 ~ 211.
- [32] Hillary Ruth. Small and Medium-Sized Enterprises and the Environment: Business Imperatives. Sheffield: Greenleaf Publishing, 2000. 11 ~ 23.
- [33] Sangwon Suh, Kun Mo Lee, Sangsun Ha. Eco-efficiency for Pollution Prevention in Small to Medium-Sized Enterprises: A Case from South Korea. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 223 ~ 240.
- [34] Raymond Côté, Aaron Booth, Bertha Louis. Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(2-7): 542 ~ 550.
- [35] Marcio D'Agosto, Suzana Kahn Ribeiro. Eco-efficiency management program (EEMP) — a model for road fleet operation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2004, 9(6): 497 ~ 511.
- [36] Dominique Maxime, Michele Marcotte, Yves Arcand. Development of eco-efficiency indicators for the Canadian food and beverage industry. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(6-7): 636 ~ 648.
- [37] Ina R. Ulenauer, Carl-Otto Gensch, Dietlinde Quack. Eco-Efficiency Analysis of Washing machines. Freiburg, 2004: 1 ~ 80. <http://www.oeko.de/>
- [38] Pittman R W. Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs. *The Economic Journal*, 1983, 93(372): 883 ~ 891.
- [39] Färe R, Grosskopf S, Lovell CAK, *et al.* Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. *The Review of Economics and Statistics*, 1989, 71(1): 90 ~ 98.
- [40] Seiford L M, Zhu J. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 2002, 142(1): 16 ~ 20.
- [41] Allen K. DEA in the Ecological Context: An Overview. In: G. Westermann ed. *Data Envelopment Analysis in the Service Sector*, Wiesbaden, Gabler Edition Wissenschaft, 1999, 203 ~ 235.
- [42] Lovell C A K, Pastor J T, Turner J A. Measuring macroeconomic performance in the OECD: A comparison of European and non-European countries. *European Journal of Operational Research*, 1995, 87(3): 507 ~ 518.
- [43] Courcelle C, Kestemont M P, Tyteca D, *et al.* Assessing the economic and environmental performance of municipal solid waste collection and sorting programmes. *Waste Management and Research*, 1998, 16(3): 253 ~ 263.
- [44] Färe R, Grosskopf S, Tyteca D. An activity analysis model of the environmental performance of firms — application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Ecological Economics*, 1996, 18(2): 161 ~ 175.
- [45] Pekka J. Korhonen, Mikulas Luptacik. Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2004, 154(2): 437 ~ 446.
- [46] Dyckhoff H, Allen K. Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA). *European Journal of Operational Research*, 2001, 132(2): 312 ~ 325.
- [47] Hua Z S, Bian Y W, Liang L. Eco-efficiency analysis of paper mills along the Huai River: An extended DEA approach. *The International Journal of Management Science*.
- [48] Timo Kuosmanen, Mika Kortelainen. Measuring Eco-efficiency of Production with Data Envelopment Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 59 ~ 72.
- [49] Jill Grant. Planning and designing industrial landscapes for eco-efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 1997, 5(1-2): 75 ~ 78.
- [50] Jyri Seppälä, Matti Melanen, Ilmo Mäenpää, *et al.* How Can the Eco-efficiency of a Region be Measured and Monitored? *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 117 ~ 130.
- [51] Per Mickwitz, Matti Melanen, Ulla Rosenstrom, *et al.* Regional eco-efficiency indicators: a participatory approach. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(18): 1603 ~ 1611.
- [52] Huisman J, Stevels A L N, Stobbe I. Eco-efficiency considerations on the end-of-life of consumer electronic products. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 2004, 27(1): 9 ~ 25.
- [53] Tohru Morioka, Kiyotaka Tsunemi, Yugo Yamamoto, *et al.* Eco-efficiency of Advanced Loop-closing Systems for Vehicles and Household Appliances in Hyogo Eco-town. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 205 ~ 221.
- [54] Stefanie Hellweg, Gabor Doka, Göran Finnveden, *et al.* Assessing the Eco-efficiency of End-of-Pipe Technologies with the Environmental Cost Efficiency Indicator. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 189 ~ 203.
- [55] Li L P, Tian C X, Guo D M. Eco-efficiency: New Environmental Management Experience of OECD. *Environmental Science Trends*, 2000, 1: 33 ~ 36.
- [56] Liao H, Zhu T. Approach on Development Relationship between Eco-economic Efficiency and Environmental Management. *Shanghai Environmental Science*, 2002, 21(7): 448 ~ 451.
- [57] Dai Y C. Eco-efficiency: A Way to Circular Economy. *Environmental Science Trends*, 2005, 1: 20 ~ 22.
- [58] Zhou G M, Peng H, Cao F Z. Circular Economy and Industrial Eco-efficiency Indicator System. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2003, 16(6): 201 ~ 203.
- [59] Liu H B, Yang H Z, Gu G W. Thoughts on the Establishment of Evaluation Indicator System of Circular Economy in China Based on Eco-efficiency. *Sichuan Environment*, 2006, 25(2): 78 ~ 82.
- [60] Zhu D J, Zhu Y. Eco-efficiency and Circular Economy. *Fudan Journal (Social Sciences)*, 2005, 2: 60 ~ 66.
- [61] Gu X W, Wang Q, Liu J X, Li G J, Ding Y, Liu J Z. Ecological Footprint in Sustainable Use of Resources in Liaoning Province. *Resources Science*, 2005, 27(4): 118 ~ 124.
- [62] Yue Y Y, Su J Q. Eco-efficiency: foreign practice and our measure. *Studies in Science of Science*, 2004, 22(2): 170 ~ 173.
- [63] Tan F Y, Chang L N. The evaluation of technological innovation eco-efficiency of enterprises Sci-Technology and Management, 2003, 6: 116 ~ 121.
- [64] He B S, Zheng X Y, Hou Q Z, Zhang B, Chen C H. The energy ecological efficiency of coal-fired plant in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(4): 435 ~ 438.
- [65] Dai T J, Lu Z W. Analysis of Eco-Efficiency of Steel Industry. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2005, 26(12): 1168 ~ 1173.

参考文献:

- [14] 刘宇辉, 彭希哲. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估. *生态学报*, 2004, 24(10): 2257 ~ 2262.
- [26] 魏权龄. 数据包络分析. 北京: 科学出版社, 2004. 59 ~ 60.
- [55] 李丽平, 田春秀, 国冬梅. 生态效率——OECD 全新环境管理经验. *环境科学动态*, 2000, 1: 33 ~ 36.
- [56] 廖红, 朱坦. 生态经济效率环境管理发展的关系探讨. *上海环境科学*, 2002, 21(7): 448 ~ 451.
- [57] 戴玉才. 环境效率-发展循环经济路径之一. *环境科学动态*, 2005, 1: 20 ~ 22.
- [58] 周国梅, 彭昊, 曹凤中. 循环经济和工业生态效率指标体系. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(6): 201 ~ 203.
- [59] 刘华波, 杨海真, 顾国维. 基于生态效率建立我国循环经济评价指标体系的思考. *四川环境*, 2006, 25(2): 78 ~ 82.
- [60] 诸大建, 朱远. 生态效率与循环经济. *复旦学报(社会科学版)*, 2005, 2: 60 ~ 66.
- [61] 顾晓薇, 王青, 刘建兴, 李广军, 丁一, 刘敬智. 辽宁省自然资源可持续利用的生态足迹分析. *资源科学*, 2005, 27(4): 118 ~ 124.
- [62] 岳媛媛, 苏敬勤. 生态效率: 国外的实践与我国的对策. *科学学*, 2004, 22(2): 170 ~ 173.
- [63] 谭飞燕, 常立农. 企业技术创新的生态效益评价. *科技与管理*, 2003, 6: 116 ~ 121.
- [64] 何伯述, 郑显玉, 侯清濯, 张彬, 陈昌和. 我国燃煤电站的生态效率. *环境科学学报*, 2001, 21(4): 435 ~ 438.
- [65] 戴铁军, 陆钟武. 钢铁企业生态效率分析. *东北大学学报(自然科学版)*, 2005, 26(12): 1168 ~ 1173.